心理学报 2020, Vol. 52, No. 7, 835−846
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2020.00835

内源性空间线索有效性对视听觉整合的影响*

唐晓雨[1] 吴英楠[1] 彭 姓[2] 王爱君[3] 李 奇[4]

([1]辽宁师范大学心理学院，辽宁省儿童青少年健康人格评定与培养协同创新中心，大连 116029)
([2]中国民用航空飞行学院飞行技术学院，广汉 618307) ([3]苏州大学心理学系，心理与行为科学研究中心，苏州 215123)
([4]长春理工大学计算机科学技术学院，长春 130022)

摘 要 采用内源性线索–靶子范式，操纵线索类型(有效线索、无效线索)和靶刺激通道类型(视觉刺激、听觉刺激、视听觉刺激)两个自变量，通过两个实验，分别设置 50%和 80%两种内源性空间线索有效性来考察不同空间线索有效性条件下内源性空间注意对视听觉整合的影响。结果发现，当线索有效性为 50%时(实验 1)，有效线索位置和无效线索位置的视听觉整合效应没有显著差异；当线索有效性为 80%时(实验 2)，有效线索位置的视听觉整合效应显著大于无效线索位置的视听觉整合效应。结果表明，线索有效性不同时，内源性空间注意对视听觉整合产生了不同的影响，高线索有效性条件下内源性空间注意能够促进视听觉整合效应。

关键词 线索有效性；视听觉整合；内源性空间注意；线索–靶子范式；竞争模型

分类号 B842

1 前言

视觉和听觉信息是人类感知外部世界的两个重要来源。将视觉和听觉感觉通道的信息有效地融合为统一、连贯的知觉过程，被称作视听觉整合(Audiovisual Integration; Talsma, Senkowski, Soto-Faraco, & Woldorff, 2010)。视听觉整合是人脑系统的一项重要功能，能够促进个体对目标刺激的检测、识别和定位。大量前人研究发现，与单一呈现的视觉或听觉刺激相比，被试对视听觉刺激的反应更快速更准确，即产生了冗余效应(Redundant Effect; Giard & Peronnet, 1999; Lunn, Sjoblom, Ward, Soto-Faraco, & Forster, 2019; van den Brink et al., 2014)。内源性空间注意是指观察者根据自己的目标或意图将注意分配到特定空间位置，是注意的自上而下加工(Posner, 1980)。内源性空间注意在视听觉整合的过程中起着至关重要的作用(Talsma & Woldorff, 2005)。研究者采用 ERP (Event-related potential) 和 fMRI (functional magnetic resonance imaging)等技术手段，对内源性空间注意如何调节视听觉整合等问题进行了诸多研究。

前人通常通过指导语操控被试对不同空间位置的注意(Talsma & Woldorff, 2005)，来考察内源性空间注意对视听觉整合的影响，结果发现内源性空间注意对视听觉整合具有促进作用。具体来看，Talsma 和 Woldorff (2005)采用 ERP 技术，要求被试对呈现在注视点某一侧(如：左侧为注意位置)位置上的靶刺激进行反应，同时忽略呈现在另一侧(如：右侧为非注意位置)位置上的靶刺激，以此诱发被试对不同空间位置的注意，从而探究内源性空间注意在视听觉整合中的作用。以视听觉诱发的 ERP 与单独视觉和听觉诱发的 ERP 之和间的差异(AV vs. A+V)作为衡量视听觉整合效应大小的指标。结果发现，靶刺激出现后 100~140 ms 额区和中央区的电极，注意位置上视听觉整合效应要显著大于非注意位置，即内源性空间注意增强了视听觉整合。

收稿日期: 2019-11-15
* 国家自然科学基金项目(31600882; 31700939; 61773076)，辽宁省教育厅高水平创新团队国(境)外培养项目(2018LNGXGJWPY-YB015)资助。
通信作者：唐晓雨, E-mail: tangyu-2006@163.com；王爱君, E-mail: ajwang@suda.edu.cn

内源性空间注意不仅能够被分配到某一个特定空间位置(选择性空间注意)，还能被分配到多个空间位置(分配性空间注意)。Santangelo, Fagioli 和 Macaluso (2010)采用 fMRI 技术，来比较分配性空间注意和选择性空间注意对视觉和听觉刺激的加工效果。结果发现，与选择性空间注意相比，分配性空间注意下检测两种通道刺激的反应时比检测单通道刺激的反应时更短，并且在分配性空间注意下检测两个通道刺激时大脑后顶叶皮层的激活更大。基于以上两个研究及其他相关研究可知内源性空间注意能够影响视听觉整合效应(Busse, Roberts, Crist, Weissman, & Woldorff, 2005; Li, Wu, & Touge, 2010)。

无论是注意一个(选择性空间注意)或多个位置(分配性空间注意)，研究者们多数通过指导语来诱发被试产生特定注意空间定向，进而来探讨内源性空间注意对视听觉整合的影响(Busse et al., 2005; Fairhall & Macaluso, 2009; Li et al., 2010; Talsma & Woldorff, 2005)。在这种方式下，注意是以一种“全或无”的方式被操控，要求被试只注意一个或者多个特定的空间位置，被试注意的位置是固定的，被试仅对注意位置的靶刺激进行反应，无法获得被试对非注意位置靶刺激反应的行为学数据，只能通过 ERP 等脑成像技术来探讨内源性空间注意对视听觉整合的影响，但现实中很难将注意以“全或无”的方式进行分配。Posner (1980)提出了研究内源性空间注意的经典实验范式—内源性线索–靶子范式(cue-target paradigm)，即在目标呈现之前在屏幕中央位置呈现指示性的箭头线索来诱发被试的内源性空间注意。目标出现位置和箭头所指方向一致时为有效线索条件(valid cue)，目标出现位置和箭头所指方向不一致时为无效线索条件(invalid cue)。在该范式中，研究者将有效线索和无效线索的比例设为 4 : 1，结果发现被试对有效线索位置目标的反应显著快于无效线索位置，即出现线索化效应(cueing effect)。在这种条件下，被试的注意更多地被分配到有效线索位置。虽然通过指导语或者内源性线索都能将被试的注意定向到特定空间位置，进而诱发内源性空间注意(Fairhall & Macaluso, 2009; van der Stigchel, Meeter, & Theeuwes, 2007)，但是与通过指导语来操控内源性空间注意相比，通过内源性线索–靶子范式能够直接比较注意位置和非注意位置被试对靶刺激反应特点的行为学指标，该范式下注意位置和非注意位置出现的靶刺激被试都要进行反应。此外，该范式还可以调控线索预测随后目标位置的比例，进而调控被试的注意分配。然而，目前缺少采用内源性空间线索诱发空间定向以考察内源性空间注意对视听觉整合影响的研究。

在内源性线索–靶子范式中，研究者们发现高线索有效性和低线索有效性对刺激的加工会产生不同的影响，相比低线索有效性，高线索有效性条件下，被试需要更长的时间将注意重新定位到靶刺激所在的无效线索位置(Arjona, Escudero, & Gómez, 2016; Vossel, Thiel, & Fink, 2006)。Vossel 等人(2006)基于 fMRI 技术，采用内源性线索–靶子范式分别考察 60%和 90%两种线索有效性对内源性空间注意定向神经机制的影响。结果发现，与低线索有效性相比，高线索有效性条件下，被试右侧额叶和顶叶的激活更大，线索化效应也更大。Arjona 等人(2016)的研究也得到了类似的结果，他们采用 Posner 任务修订版本(视觉–听觉空间任务)，设置 3 种不同线索有效性的区组(50%有效线索—50%无效线索，68%有效线索—32%无效线索，86%有效线索—14%无效线索)，基于行为学和 ERP 等方法来考察线索有效性概率对目标神经加工的影响。行为学结果发现，随着有效线索的比例增加，线索化效应逐渐变大。ERP 结果发现，随着有效线索的比例增加，P2a, P3b 和 NSW 成分的差异波振幅逐渐变大。线索有效性能够影响内源性空间注意的分配，有效线索所占比例越大，当目标出现在无效线索位置时，被试需要花更长的时间、更多的注意资源去重新定位。那么，在内源性线索–靶子范式中，不同线索有效性条件下，内源性空间注意对视听觉整合效应是否会产生不一样的影响呢?

综上所述，本研究采用内源性线索–靶子范式，操纵线索类型(有效线索、无效线索)和靶刺激通道类型(视觉刺激、听觉刺激、视听觉刺激)两个自变量，通过两个实验来考察不同空间线索有效性条件下内源性空间注意对视听觉整合的影响。实验 1 线索有效性设置为 50% (线索对靶刺激所在位置的预测性为 50%)，实验 2 线索有效性设置为 80% (线索对靶刺激所在位置的预测性为 80%)。两个实验除了线索有效性不同，其余条件设置均相同。基于前人研究结果，本研究预期，不同空间线索有效性条件下内源性空间注意对视听觉整合产生不同影响，且高线索有效性条件下更可能观测到内源性空间注意对视听觉整合的促进作用。

2　实验 1：50%线索有效性条件下内源性空间注意对视听觉整合的影响

2.1　方法

2.1.1　被试

一方面，基于以往关于内源性注意研究中的样本量(Arjona et al., 2016; Dombert, Kuhns, Mengotti, Fink, & Vossel, 2016; Vossel, Mathys, Stephan, & Friston, 2015)；另一方面，基于相关研究中报告的效果量以及期望的功效值(0.8)计算的样本量(计算软件采用 GPower_3.1.7)。最终计划样本量为 24~36 人，实验 1 最终招募某高校在校学生 35 名(男生 5 名，女生 30 名)，年龄范围在 18~26 岁之间，*M* = 21.26 岁，*SD* = 1.77 岁。所有被试的听力正常，视力或矫正视力正常，均为右利手，未患精神疾病，无脑部损伤历史。之前均没有参加过类似的实验，被试在实验结束后获得一定酬劳。

2.1.2　实验装置和材料

实验程序的编写和刺激的呈现均采用 E-Prime (版本 1.1)。实验刺激呈现在 AOC G2770PF (270LM00009)型号的液晶显示器上，可视尺寸 27 英寸，分辨率为 1024×768 像素，刷新率为 100 Hz。实验在黑暗、隔音的环境下进行，屏幕背景为黑色，亮度指标为 0.4 cd/m^2。被试眼睛距离屏幕中心约 60 cm。

实验刺激如图 1(a)所示。在注视屏中，包括三个方框，大小为 4°× 4°，中央方框内呈现加号“+”注视点(长度：0.05°× 0.05°)。在线索屏中，中央方框内随机呈现指向左或右的箭头作为内源性空间线索。在靶刺激屏中，视觉靶刺激为白色的五角星号(RGB：255, 255, 255)，大小为 2°× 2°；听觉靶刺激采用SoundEngine Free软件制作和处理，为1600 HZ、65 dB 的纯音(100 ms, 10 ms 的 rise 和 fall time)，通过位于屏幕后两侧(左/右)的扬声器呈现(离中央注视点：19°)；视听觉靶刺激由视觉靶刺激和听觉靶刺激组合而成。

2.1.3　实验设计和程序

实验采用 2(线索类型：50%有效线索，50%无效线索) × 3(靶刺激通道类型：视觉刺激、听觉刺激和视听觉刺激)的被试内实验设计。

单个试次流程如图 1(b)所示。每个试次开始时在屏幕中央随机呈现一个 600~800 ms 的“+”注视点，随后呈现 200 ms 的视觉线索刺激，即随机指向左/右的中央箭头，经 700 ms 的时间间隔后，100 ms 的靶刺激(V/A/AV)出现在左/右方框内，要求被试既快又准的完成定位任务。实验任务：要求被试对靶刺激的位置进行左/右判断，当靶刺激出现在左侧时按键盘上的“F”键，出现在右侧时按“J”键。实验前告知被试：线索有效性为 50%，线索所指方向能预测 50%的目标位置。要求被试在每个试次中，将眼睛注视于屏幕中央，并尽可能准确、快速地对靶刺激做出反应。正式实验包括 480 个试次，共分为 4 组，每组之间各休息 10 s。正式实验前，被试先进行 12 个练习试次，整个实验大约 20 分钟。

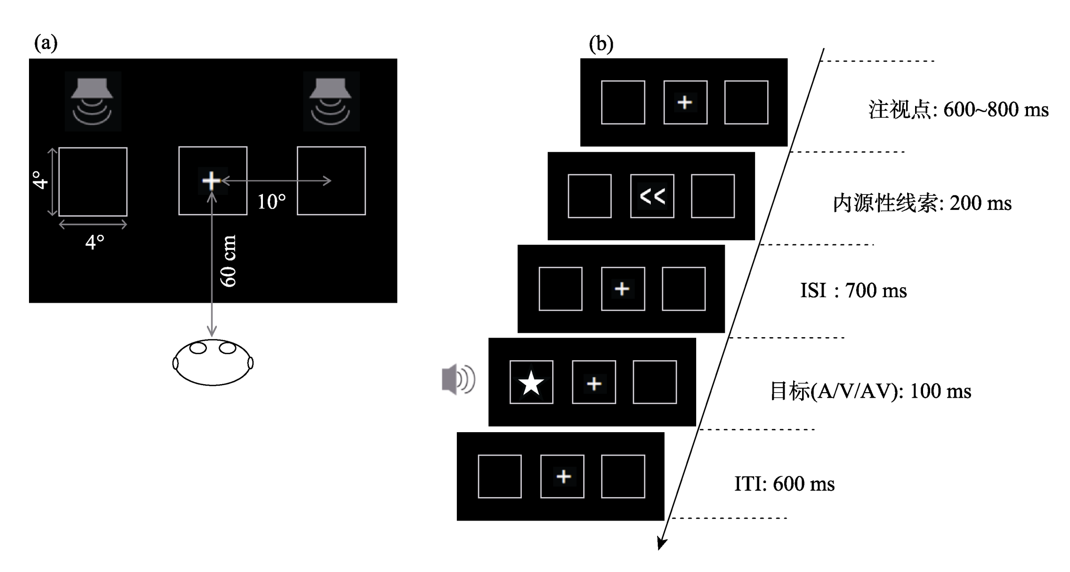


图 1　实验刺激示例图和实验流程图

注：图(a)为靶刺激呈现位置的示意图；图(b)为单个试次的流程图。图(b)中视觉线索(中央箭头)指向左侧，靶刺激(视听觉)呈现在左侧(即，有效线索位置)，要求被试对靶刺激进行既快又准的定位反应。其中，靶刺激(V/A/AV)分别代表视觉(visual)、听觉(auditory)和视听觉(audiovisual)通道目标。ISI 是指刺激间的时间间隔(inter-stimulus interval)。ITI 是指试次间的时间间隔(inter-trial interval)。

2.1.4 数据分析

为了比较不同条件下的相对多感觉反应增强(relative amount of multisensory response enhancement, rMRE)，采用公式(a)对视听觉目标反应时与单通道目标(视觉、听觉)中最快反应时的相对差值进行计算(van der Stoep, van der Stigchel, Nijboer, & Spence, 2017)。rMRE 值反映了与单通道目标(视觉、听觉)中最短的反应时相比，个体对多感觉通道目标反应时的加速或减速的相对量，代表多感觉反应增强效应。

$$rMRE = \frac{\min(median(RT_A), median(RT_V)) - median(RT_{AV})}{\min(median(RT_A), median(RT_V))} \times 100\% \quad (a)$$

为了考察 rMRE 结果是用统计促进(statistical facilitation)还是多感觉整合(multisensory integration, MSI)来解释，采用公式(b) (竞争模型不等式，race model inequality)，用视觉靶刺激和听觉靶刺激反应时间的累积分布函数(cumulative distribution functions, CDFs)来计算竞争模型(Race Model)，竞争模型是基于单通道视觉和单通道听觉的累积分布函数结合来计算的(Miller, 1986; Raab, 1962; Ulrich, Miller, & Schröter, 2007)。

$$P(RT_{RaceModel} < t) = P(RT_A < t) + RT_V < t \quad (b)$$

在公式(b)中，P 代表累积分布函数(cumulative distributive functions, CDF)，即在给定时间 t 内对目标反应的概率值。$P(RT_A < t)$是单通道听觉试次在给定时间 t 内的反应概率值，而 $P(RT_V < t)$是单通道视觉试次在给定时间 t 内的反应概率值，通过该公式能够计算出竞争模型的预测累积概率值(predicated cumulative probability, *CP*)，即 $CP_{Race\ model}$，代表预测的统计促进的上限值(Miller, 1982, 1986; Ulrich et al., 2007)。然后将视听 CDF 与竞争模型 CDF 作差得到差异 CDF，即视听 CDF 与竞争模型 CDF 在 RT 范围内(本研究为 0~1000 ms)每 10 ms 上的概率差异(Laurienti, Burdette, Maldjian, & Wallace, 2006)。若在给定反应时范围内，实际 CP_{AV} 显著大于预测 $CP_{Race\ model}$，即显著违反竞争模型，代表发生多感觉整合效应(Ulrich et al., 2007)。

2.2 结果与分析

剔除正确率低于 90%的被试，最终无被试被剔除。错误反应、没有反应和反应时异常(小于 100 ms 或超过 1000 ms)的数据不作分析。最终数据删除量占总数据的 2.09%。

2.2.1 正确率

对正确率进行 2(线索类型：有效线索、无效线索) × 3(靶刺激通道类型：视觉、听觉、视听觉)的重复测量方差分析。

结果如表 1 所示：靶刺激通道类型主效应显著，$F(2, 68) = 17.41$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.34$，进一步分析表明，视听觉目标反应的正确率(M = 99.2%)显著高于视觉目标反应的正确率(M = 97.9%, p = 0.007)和听觉目标反应的正确率(M = 97.0%, p < 0.001)，视觉目标反应的正确率(M = 97.9%)显著高于听觉目标反应的正确率(M = 97.0%, p = 0.037)。线索类型主效应不显著，$F(1, 34)$ =1.50, p = 0.230。线索类型和靶刺激通道类型的交互作用不显著，$F(2, 68)$ = 0.21, p = 0.754。

表 1 每个实验中不同条件下的反应时(RT/ms)、正确率(ACC/%)($M \pm SD$)

靶刺激通道类型	线索类型	实验 1		实验 2	
		RT (ms)	ACC (%)	RT (ms)	ACC (%)
视听觉	有效线索	302 ± 34	99.2 ± 1.2	289 ± 42	98.7 ± 1.2
	无效线索	312 ± 36	99.2 ± 1.2	333 ± 51	95.8 ± 4.8
听觉	有效线索	341 ± 39	97.1 ± 2.8	318 ± 51	97.1 ± 2.6
	无效线索	353 ± 42	96.8 ± 2.7	363 ± 56	92.7 ± 4.5
视觉	有效线索	334 ± 42	98.0 ± 2.3	324 ± 41	97.5 ± 2.3
	无效线索	345 ± 47	97.7 ± 2.9	362 ± 46	95.4 ± 4.7

2.2.2 反应时

对反应时进行 2(线索类型：有效线索、无效线索) × 3(靶刺激通道类型：视觉、听觉、视听觉)的重复测量方差分析。

结果如表 1 和图 2(a)所示：靶刺激通道类型主效应显著，$F(2, 68) = 55.38$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.62$，进一步分析表明，视听觉目标的反应时(M = 307 ms)显著快于视觉目标的反应时(M = 339 ms, p < 0.001)和听觉目标的反应时(M = 347 ms, p < 0.001)，视觉目标的反应时(M = 339 ms)和听觉目标的反应时(M = 347 ms, p = 0.479)没有显著差异。线索类型主效应显著，$F(1, 34) = 24.58$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.42$，有效线索位置目标的反应时(M = 326 ms)显著快于无效线索位置目标的反应时(M = 336 ms, p < 0.001)。线索类型和靶刺激通道类型的交互作用不显著，$F(2, 68) = 0.89$, $p = 0.398$。

2.2.3 相对多感觉反应增强(rMRE)

对不同线索类型条件下的 rMRE 进行单样本 t

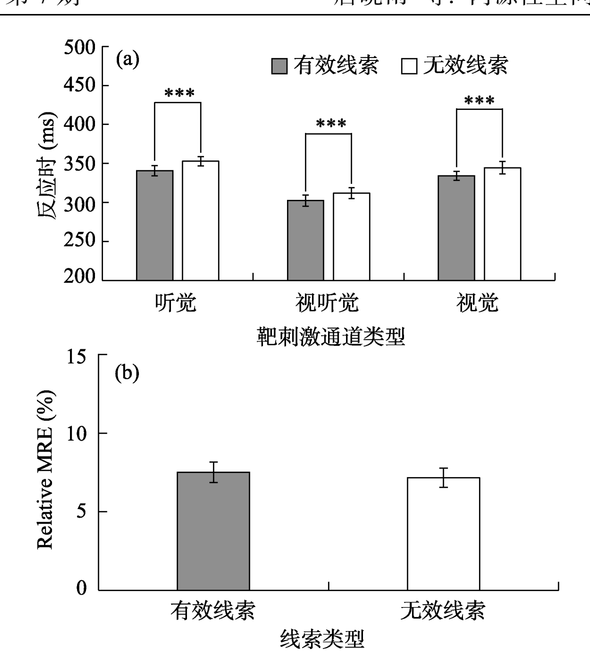


图 2　实验 1 中不同条件下的反应时和 relative MRE (rMRE)

注：图(a)为不同条件下的反应时，反应时结果为平均中位数；图(b)为不同条件下的 rMRE。*** $p < 0.001$

检验(与 0 进行比较)，结果显示两种条件下均显著大于 0, ts (34) > 11.44, $ps < 0.001$。代表与单通道(视觉或听觉)目标中最短的反应时相比，个体对同时呈现的双通道视听觉目标反应更快，产生冗余信号效应。对不同线索类型条件下的 rMRE 进行配对样本 t 检验，结果如图 2(b)所示：有效线索位置的 rMRE (M = 7.48%, SD = 3.87%)与无效线索位置的 rMRE (M = 7.14%, SD = 3.57%, t(34) = 0.71, p = 0.481, d = 0.09, 95% CI = [−0.64, 1.32])没有显著差异。

2.2.4　竞争模型分析(race model)

首先，在反应时 0~1000 ms 区间，求出每 10 ms 时间段上不同线索类型条件下的概率值：视觉 $P(RT_V < t)$、听觉 $P(RT_A < t)$和视听觉 $P(RT_{AV} < t)$。其次，将不同线索类型的 CP_{AV}减 $CP_{Race\ model}$的累计概率差异值在每 10 ms 上进行单样本 t 检验(与 0 进行比较)。结果如图 3 所示：有效线索位置上显著违反竞争模型(显著大于 0)的时间窗口是 110 ms (230~340 ms), ts (34) > 2.03, ps < 0.05, 峰值在 280 ms，为 8%。无效线索位置上显著违反竞争模型的时间窗口是 110 ms (230~340 ms), ts (34) > 2.25, ps < 0.011, 峰值在 290 ms，为 8%。对所得 p 值进行 Bonferroni 校正后，结果显示，有效线索位置上违反竞争模型的时间窗口是 90 ms (240~320 ms)，无效线索位置上违反竞争模型的时间窗口是 80 ms (240~310 ms)。即在无效线索位置和有效线索位置违反竞争模型的时间窗口、发生的时间和峰值相似。上述结果表明，无效线索位置上的视听觉整合效应和有效线索位置上的视听觉整合效应没有差异。

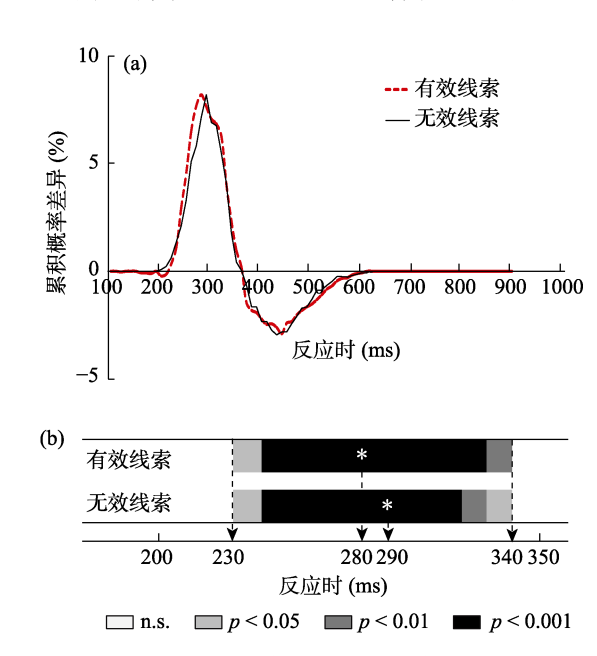


图 3　实验 1 中不同线索类型的反应竞争模型分析和违反竞争模型的时间窗口

注：图(a)为不同线索类型的反应竞争模型分析，图(a)中横轴表示显著违反竞争模型(实际 AV 累积概率(CP_{AV})显著大于竞争模型预测累积概率($CP_{Race\ model}$))的时间窗口；图(b)为不同线索类型下违反竞争模型的时间窗口，图(b)中*代表峰值，箭头分别代表违反竞争模型时间窗口的起始时间、峰值发生时间。

3　实验 2：80%线索有效性条件下内源性空间注意对视听觉整合的影响

3.1　方法

3.1.1　被试

27 名(男生 6 名，女生 21 名)某高校在校生自愿参与实验，年龄跨度在 19~25 岁之间, M = 22.19 岁, SD = 1.75 岁。所有被试的听力正常，视力或矫正视力正常，4 名被试为左利手，其余均为右利手，未患精神疾病，无脑部损伤历史。之前均没有参加过类似的实验，被试在实验结束后获得一定酬劳。

3.1.2　实验装置和材料

实验 2 的实验装置和材料同实验 1。

3.1.3　实验设计和程序

实验 2 除线索有效性设置为 80%，其余同实验 1。采用 2(线索类型：80%有效线索，20%无效线索) × 3(靶刺激通道类型：视觉刺激、听觉刺激和视

听觉刺激)的被试内实验设计。

实验流程与实验 1 完全一致。实验前告知被试：线索有效性为 80%，线索所指方向能预测 80%的目标位置。正式实验包括 1200 个试次，共分为 8 组，每组之间各休息 10 s。正式实验前，被试先进行 30 个练习试次，整个实验大约 45 分钟。

3.1.4 数据分析

实验 2 的数据分析过程同实验 1。

3.2 结果与分析

剔除正确率低于 90%的被试，最终无被试被剔除。错误反应、没有反应和反应时异常(小于 100 ms 或超过 1000 ms)的数据不作分析。最终数据删除量占总数据的 2.96%。

3.2.1 正确率

对正确率进行 2(线索类型：有效线索、无效线索) × 3(靶刺激通道类型：视觉、听觉、视听觉)的重复测量方差分析。

结果如表 1 所示：靶刺激通道类型主效应显著，$F(2, 52) = 7.48$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.22$，进一步分析表明，视听觉目标反应的正确率(M = 97.2%)显著高于听觉目标反应的正确率(M = 94.9%, $p = 0.001$)，视听觉目标反应的正确率(M = 97.2%)和视觉目标反应的正确率(M = 96.5%, $p = 0.756$)没有显著差异，视觉目标反应的正确率(M = 96.5%)和听觉目标反应的正确率(M = 94.9%, $p = 0.054$)没有显著差异。线索类型主效应显著，$F(1, 26) = 22.41$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.46$，有效线索位置目标反应的正确率(M = 97.8%)显著高于无效线索位置目标反应的正确率(M = 94.6%, $p < 0.001$)。线索类型和靶刺激通道类型的交互作用显著，$F(2, 52) = 3.90$, $p = 0.026$, $\eta_p^2 = 0.13$。简单效应分析表明，在有效线索条件下，视听觉目标反应的正确率(M = 98.7%)显著高于视觉目标反应的正确率(M = 97.5%, $p = 0.011$)和听觉目标反应的正确率(M = 97.1%, $p = 0.007$)；在无效线索条件下，视听觉目标反应的正确率(M = 95.8%)显著高于听觉目标反应的正确率(M = 92.7%, $p = 0.003$)，视觉目标反应的正确率(M = 95.4%)显著高于听觉目标反应的正确率(M = 92.7%, $p = 0.031$)。

3.2.2 反应时

对反应时进行 2(线索类型：有效线索、无效线索) × 3(靶刺激通道类型：视觉、听觉、视听觉)的重复测量方差分析。

结果如表 1 和图 4(a)所示：靶刺激通道类型主效应显著，$F(2, 52) = 50.04$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.66$，进一步分析表明，视听觉目标的反应时(M = 311 ms)显著快于视觉目标的反应时(M = 343 ms, $p < 0.001$)和听觉目标的反应时(M = 341 ms, $p < 0.001$)，视觉目标的反应时(M = 343 ms)和听觉目标的反应时(M = 341 ms, $p = 1.000$)没有显著差异。线索类型主效应显著，$F(1, 26) = 41.18$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.61$，有效线索位置目标的反应时(M = 310 ms)显著快于无效线索位置目标的反应时(M = 353 ms, $p < 0.001$)。线索类型和靶刺激通道类型的交互作用不显著，$F(2, 52) = 3.03$, $p = 0.057$。

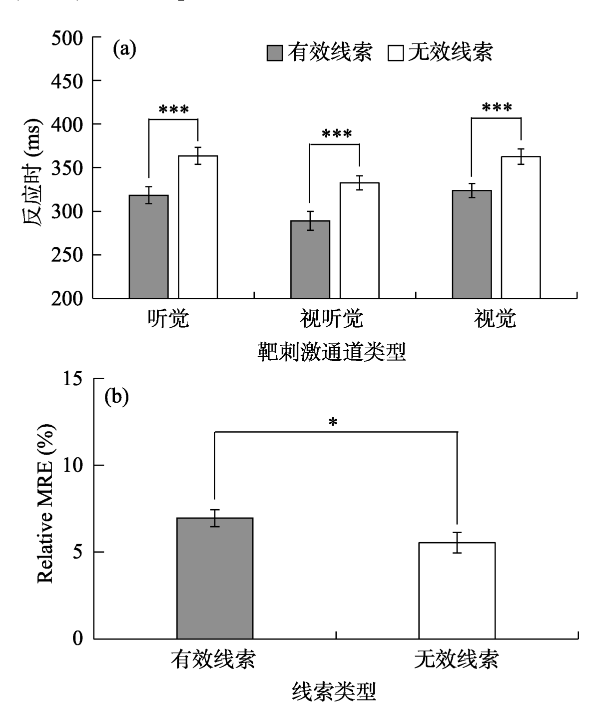


图 4 实验 2 中不同条件下的反应时和 relative MRE (rMRE)

注：图(a)为不同条件下的反应时，反应时结果为平均中位数；图(b)为不同条件下的 rMRE。*** $p < 0.001$, * $p < 0.05$

对实验 1 和实验 2 不同靶刺激通道类型下的线索化效应分别进行单样本 t 检验(与 0 进行比较)，结果如表 2 所示，均显著大于 0, $ps < 0.001$。对实验 1 和实验 2 不同靶刺激通道类型下的线索化效应分别进行独立样本 t 检验，结果显示，80%线索有效性下每个靶刺激通道类型下的线索化效应都显著大于 50%线索有效性下的线索化效应，$ps < 0.05$。

3.2.3 相对多感觉反应增强(rMRE)

对不同线索类型条件下的 rMRE 进行单样本 t 检验(与 0 进行比较)，结果显示均显著大于 0, $ts\ (26) > 9.31$, $ps < 0.001$。代表与单通道(视觉或听觉)目标中最短的反应时相比，个体对同时呈现的双通道视听觉目标反应更快，产生冗余信号效应。对不

表 2　不同靶刺激通道类型下的 Cueing effect 结果对比

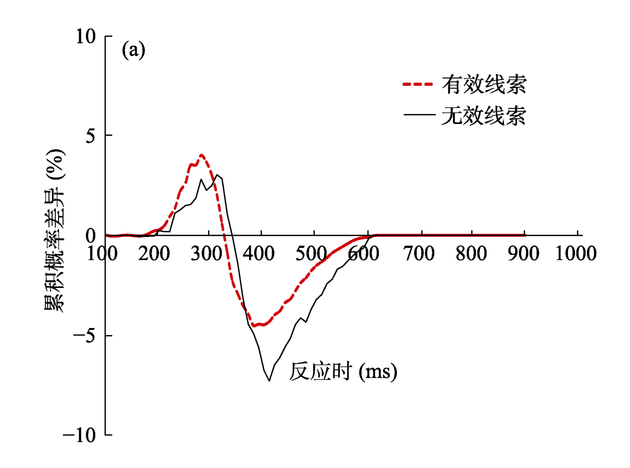
实验	条件	M	95% CI 下限	95% CI 上限	t	p
实验 1	Cueing effect					
	A	12.23	5.97	18.49	3.97	< 0.001
	AV	9.44	5.48	13.41	4.84	< 0.001
	V	10.23	5.62	14.84	4.51	< 0.001
	Cueing effect 对比					
	A vs. AV	2.79	−1.31	6.88	1.38	0.176
	A vs. V	2.00	−3.28	7.28	0.77	0.447
	AV vs. V	−0.78	−4.37	2.80	−0.45	0.659
实验 2	Cueing effect					
	A	45.04	29.77	60.30	6.06	< 0.001
	AV	43.54	29.75	57.32	6.49	< 0.001
	V	38.70	26.00	51.41	6.26	< 0.001
	Cueing effect 对比					
	A vs. AV	1.50	−3.14	6.14	0.67	0.512
	A vs. V	6.33	0.21	12.46	2.13	0.043
	AV vs. V	4.83	−0.88	10.54	1.74	0.094

注：Cueing Effect 为有效线索位置的反应时减去无效线索位置的反应时, M 为平均数, 95% CI 为 95%置信区间。

同线索类型条件下的 rMRE 进行配对样本 t 检验, 结果如图 4(b)所示：有效线索位置的 rMRE (M = 6.95%, SD = 2.54%)与无效线索位置的 rMRE (M = 5.54%, SD = 3.09%, $t(26)$ = 2.19, p = 0.038, d = 0.49, 95% CI = [0.08, 2.74])差异显著。

3.2.4　竞争模型分析(race model)

首先, 在反应时 0~1000 ms 区间, 求出每 10 ms 时间段上不同线索类型条件下的概率值：视觉 $P(RT_V < t)$、听觉 $P(RT_A < t)$和视听觉 $P(RT_{AV} < t)$。其次, 将不同线索类型的 CP_{AV}减 $CP_{Race\ model}$ 的累计概率差异值在每 10 ms 上进行单样本 t 检验(与 0 进行比较)。结果如图 5 所示：有效线索位置上显著违反竞争模型(显著大于 0)的时间窗口是 90 ms (220~310 ms), ts (26) > 2.14, ps < 0.05, 峰值在 280 ms, 为 4%。无效线索位置上显著违反竞争模型的时间窗口是 60 ms, ts (26) > 2.11, ps < 0.05, 峰值在 310 ms, 为 3%。对所得 p 值进行 Bonferroni 校正后, 结果显示, 有效线索位置上违反竞争模型的时间窗口是 30 ms (240~260 ms), 无效线索位置校正后没有时间段显著违反竞争模型。即在有效线索位置相比无效线索位置违反竞争模型的时间窗口更大, 发生的时间更早, 且峰值更大。结果表明, 有效线索位置上的视听觉整合效应大于无效线索位置上的视听觉整合效应。



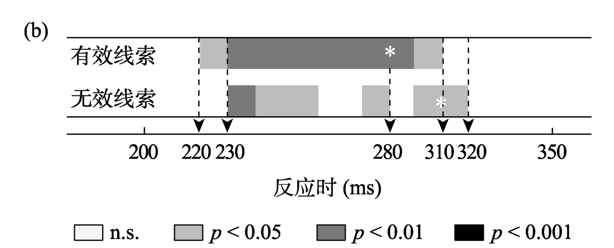


图 5　实验 2 中不同线索类型的反应竞争模型分析和违反竞争模型的时间窗口

注：图(a)为不同线索类型条件下的反应竞争模型分析, 图(a)中横轴表示显著违反竞争模型(实际 AV 累积概率(CP_{AV})显著大于竞争模型预测累积概率($CP_{Race\ model}$))的时间窗口；图(b)为不同线索类型下违反竞争模型的时间窗口, 图(b)中*代表峰值, 箭头分别代表违反竞争模型时间窗口的起始时间、峰值发生时间。

4 讨论

本研究采用内源性空间线索−靶子范式，结合定位任务，由呈现在屏幕中央的白色箭头作为内源性空间线索，通过两个实验考察不同空间线索有效性条件下内源性空间注意对视听觉整合的影响。结果发现，当线索有效性为50%时(实验1)，有效线索位置和无效线索位置的视听觉整合效应没有显著差异；当线索有效性为 80%时(实验 2)，有效线索位置的视听觉整合效应显著大于无效线索位置的视听觉整合效应。表明不同线索有效性条件下内源性空间注意对视听觉整合产生了不同的影响。

4.1 不同线索有效性下内源性空间注意对视听觉整合的影响

在反应时结果上，实验 1 和实验 2 均发现双通道目标的反应时显著快于单通道目标，即产生冗余信号效应，体现了双通道的加工优势，与以往研究结果一致(Lunn et al., 2019; McCracken et al., 2019; Tang et al., 2019)。基于 rMRE、Race Model 结果，研究发现当线索有效性为 80%时，有效线索位置的 rMRE 显著大于无效线索位置的 rMRE，有效线索位置要比无效线索位置违反竞争模型的时间窗口更长，峰值更大，即 80%线索有效性条件下内源性空间注意增强了视听觉整合效应。上述结果与前人操纵不同空间位置研究内源性空间注意的神经学结果一致，内源性空间注意对视听觉整合具有促进作用(Bertelson, Vroomen, Gelder, & Driver, 2000; Fairhall & Macaluso, 2009; Talsma & Woldorff, 2005)。前人研究发现，在选择性空间注意条件下，与非注意位置的刺激相比，在刺激出现后 280 ms 的中央区域(Li et al., 2010)、刺激出现后 100 ms 的额中区域(Talsma & Woldorff, 2005)，对注意位置刺激的 ERP 反应更大。但是前人关于内源性空间注意对整合的研究中，对内源性注意的操纵都是以一种“全或无”的方式，无法在行为学层面上考察内源性空间注意对整合的影响，而本研究通过内源性空间线索−靶子范式在行为学层面上证实了内源性空间注意对整合的促进作用。综上所述，内源性空间注意对视听觉整合的促进作用，不仅表现在大脑的神经活动增强方面，同时在行为上也表现出多感觉性能提高现象，但是行为表现和神经活动是否相关，需要进一步的研究进行验证。

值得注意的是，当线索有效性为 80%时，虽然无效线索条件下出现刺激的概率为 20%，但是也观测到了整合效应。这一结果是在很多内源性空间注意研究中无法观测到的。之前的研究表明多感觉刺激的强度，呈现时间和空间的一致性会影响多感觉刺激的整合过程(Meredith, Nemitz, & Stein, 1987; Meredith & Stein, 1986a, 1986b; Stein, Meredith, & Wallace, 1993)。同时，任务类型、可用的注意资源和注意类型等因素均能够影响整合的程度(Koelewijn, Bronkhorst, & Theeuwes, 2010; Talsma et al., 2010)。已有研究显示，视觉和听觉刺激的同时呈现以及同地发生是促进视听觉整合的两个重要基本特征(Lewald & Guski, 2003)。在本研究中，虽然无效线索条件下刺激较少，但是视听觉刺激的时空一致性促进了视听觉整合效应，而且由于在非注意一侧，所以整合效应小于注意位置。与 Talsma 和 Woldorff (2005)的研究结果一致，即使在非注意位置，在中央区电极上也观测到明显的视听觉整合效应，但是非注意位置的视听觉整合效应发生较晚，而且小于注意位置。

大多数前人研究发现，内源性空间注意能够增强视听觉整合效应(Fairhall & Macaluso, 2009; Talsma & Woldorff, 2005)，但是也有一项研究与之相反(Zou, Müller, & Shi, 2012)。导致结果不同的一个原因可能是目标位置的不确定性程度(van der Stoep, van der Stigchel, & Nijboer, 2015)。Talsma 和 Woldorff (2005)以及 Fairhall 和 Macaluso (2009)的研究，目标呈现的位置是固定的，而 Zou 等人(2012)采用视觉搜索任务，目标位置的不确定程度更大，进而发现了相反的调节效应。van der Stoep 等人(2015)采用外源性空间线索−靶子范式，有效和无效线索试次数目相同，结果发现外源性空间注意减少整合效应。研究者通过“空间不确定性假说”进行解释，即外源性线索不能预测目标的呈现位置，以至于产生更高的靶位置不确定性，使得被试对目标的反应更多依赖于线索诱发的空间定向，视听觉目标本身引起的空间定向重要性则会降低。在有效线索位置，外源性线索与视听觉目标本身引起的空间定向信息是冗余的，因此降低了有效位置上视听觉目标整合的重要性，进而导致外源性注意减弱视听觉整合。综上，本研究认为内源性空间注意对整合的调节可能主要通过调控位置的不确定性来实现的。有研究表明，线索对目标位置的预测性越大越容易吸引注意，大脑中的右侧颞顶交界处参与加工空间注意任务中的线索预测性(Dombert et al., 2016; Kuhns, Dombert, Mengotti, Fink, & Vossel, 2017;

Vossel et al., 2015)。在实验 2 中, 线索对目标出现位置的预测性为 80%, 高于 50%的随机概率, 目标位置的空间确定性程度较高, 对空间定向的需求较少, 而且由于内源性注意是一种目标驱动的注意, 受自上而下认知资源的调控, 所以被试将更多的注意资源分配到有效线索位置, 有效线索位置视听觉整合的重要性得到提高, 进而导致内源性注意对整合的促进作用。

然而, 在实验 1 中, 当线索有效性同 van der Stoep 等人(2015)研究外源性注意相同时, 却没有发现相同的结果。有效性同为 50%时, 内外源线索均没有预测作用, 然而却出现了不同的结果。导致研究结果不同的原因很可能是由内外源注意本身之间的差异所导致的。内源性空间注意不同于外源性空间注意, 受大脑认知负荷影响较大, 占用更多的认知资源(Chica & Lupiáñez, 2009)。在实验 1 中, 虽然线索对目标呈现位置没有预测作用, 但是仍然有指向作用, 引导的是自上而下的控制加工, 能够占用大脑的认知资源; 而 van der Stoep 等人(2015)的研究中, 线索对目标呈现位置没有预测作用, 也不具有指向作用, 引导的是自下而上的自动化加工, 不占用大脑的认知资源。此外, 前人研究发现, 在内源性注意条件下, 左半球额叶的激活要显著大于顶叶的激活, 内源性注意受额叶脑区控制; 而在外源性注意条件下, 左半球顶叶的激活要显著大于额叶的激活, 外源性注意受顶叶脑区控制(Baluch & Itti, 2011; Buschman & Miller, 2007; Meyer, Du, Parks, & Hopfinger, 2018)。综合来看, 内外源性空间注意对视听觉整合的调节可能会因为内外源空间注意机制的不同而不一样。

4.2　不同线索有效性及靶刺激通道下的线索化效应

本研究发现 50%线索有效性(实验 1)和 80%线索有效性(实验 2)在不同靶刺激通道类型上均产生了显著的线索化效应, 并且, 在每种靶刺激通道类型上, 80%线索有效性条件下的线索化效应都显著大于 50%线索有效性条件下的线索化效应。所以无论内源性中央箭头线索能否高概率预测靶刺激的呈现位置, 都能产生显著的线索化效应, 并且随着有效性的增加, 线索化效应逐渐变大, 也就是说, 相比 50%线索有效性, 80%线索有效性条件下被试对线索的利用率更大。本研究得到的结果和前人研究结果一致, 以往研究发现, 在内源性线索−靶子范式中, 线索有效性能够影响注意的分配, 线索化效应随着线索有效性的增大而增大(Eimer, 1997; Jonides, 1983; Posner, 1980; Riggio & Kirsner, 1997; Vossel et al., 2014)。当线索有效性为 50%时, 线索只有指向作用, 当有效性为 80%时, 线索既具有指向作用还有预测作用, 导致被试对线索的利用率更高。前人研究发现, 线索有效性越大, 导致被试对有效位置的预期更大, 分配到此位置的注意资源更多(Mengotti, Boers, Dombert, Fink, & Vossel, 2018)。线索有效性能够影响内源性空间注意的分配, 有效线索所占比例越大, 当目标出现在无效线索位置时, 被试需要花更长的时间、更多的注意资源去重新定位(Arjona et al., 2016)。个体对目标位置的预期能够有效地引导注意的分配(Carrasco, 2014; Peelen & Kastner, 2014; Posner, 1980)。

另外, 基于本研究的行为学结果, 在不同靶刺激通道类型上均产生了显著的线索化效应, 但是在不同线索有效性条件下视听觉目标的线索化效应与单通道目标并没有显著差异, 即使在实验 2 中发现了内源性空间注意对整合的促进效应。对于此结果, 可能有两点原因, 其一可能是因为视听觉整合对内源性线索化效应没有调节作用。内源性线索化效应通过线索化效应量的大小单方向调节内源性空间注意和整合间的关系。在两个实验中, 无论线索有效性为 50%, 还是 80%, 均观察到了稳定的线索化效应, 并且 80%条件下的线索化效应显著高于 50%条件下的线索化效应, 在 80%条件下, 才观察到内源性空间注意对整合产生影响。所以线索化效应量的大小可能是调节内源性空间注意和视听觉整合间关系的一个途径, 而视听觉整合对线索化效应可能没有调节作用, 未来有待进一步探讨。其二视听觉整合可能对内源性线索化效应具有调节作用, 但本研究中未发现这一现象。以往研究发现, 与视觉目标同时呈现的听觉刺激能够增强对视觉目标的感知觉显著性, 在复杂的环境中增强视觉目标的凸显性(Talsma et al., 2010; van der Burg, Olivers, Bronkhorst, & Theeuwes, 2008; van der Burg, Talsma, Olivers, Hickey, & Theeuwes, 2011)。在本研究的两个实验中, 无论在有效线索条件, 还是无效线索条件下, 由于双通道刺激的冗余效应使得对视听觉目标的反应时均显著快于视觉目标和听觉目标的反应时。此外, 前人研究发现双通道刺激和单通道刺激捕获注意的能力是受认知负荷调节的(Santangelo, Ho, & Spence, 2008; Santangelo & Spence, 2007), Santangelo 等人(2008)采用空间线索

化任务探索双通道刺激捕获注意的能力，研究发现在无认知负荷条件下，单通道和双通道刺激捕获注意的能力没有差别，单通道和双通道刺激诱发的空间线索化效应没有差别。然而，在高认知负荷条件下，双通道刺激相对于单通道刺激，可以诱发更大的空间线索化效应。而本研究采用的是较简单的定位任务，要求被试对靶刺激呈现位置进行左右判断，因此任务简单可能是未发现整合对线索化效应产生调节作用的原因。未来可将任务难度作为一个影响视听觉整合的因素进行探讨。

5 结论

在内源性线索−靶子范式中，不同线索有效性对视听觉整合效应的调节不同。高线索有效性条件下，内源性空间注意能够促进视听觉整合效应。

参 考 文 献

Arjona, A., Escudero, M., & Gómez, C. M. (2016). Cue validity probability influences neural processing of targets. *Biological Psychology, 119*, 171–183.

Baluch, F., & Itti, L. (2011). Mechanisms of top-down attention. *Trends in Neurosciences, 34*(4), 210–224.

Bertelson, P., Vroomen, J., de Gelder, B., & Driver, J. (2000). The ventriloquist effect does not depend on the direction of deliberate visual attention. *Perception & Psychophysics, 62*(2), 321–332.

Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science, 315*(5820), 1860–1862.

Busse, L., Roberts, K. C., Crist, R. E., Weissman, D. H., & Woldorff, M. G. (2005). The spread of attention across modalities and space in a multisensory object. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*(51), 18751–18756.

Carrasco, I. (2014). Gender gap in innovation: An institutionalist explanation. *Management Decision, 52*(2), 410–424.

Chica, A. B., & Lupiáñez, J. (2009). Effects of endogenous and exogenous attention on visual processing: An Inhibition of Return study. *Brain Research, 1278*, 75–85.

Dombert, P. L., Kuhns, A., Mengotti, P., Fink, G. R., & Vossel, S. (2016). Functional mechanisms of probabilistic inference in feature- and space-based attentional systems. *Neuroimage, 142*, 553–564.

Eimer, M. (1997). Uninformative symbolic cues may bias visual-spatial attention: Behavioral and electrophysiological evidence. *Biological Psychology, 46*(1), 67–71.

Fairhall, S. L., & Macaluso, E. (2009). Spatial attention can modulate audiovisual integration at multiple cortical and subcortical sites. *European Journal of Neuroscience, 29*(6), 1247–1257.

Giard, M. H., & Peronnet, F. (1999). Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: A behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*(5), 473–490.

Jonides, J. (1983). Towards a model of the mind's eye's movement. *Bulletin of the Psychonomic Society, 21*(4), 247–250.

Koelewijn, T., Bronkhorst, A., & Theeuwes, J. (2010). Attention and the multiple stages of multisensory integration: A review of audiovisual studies. *Acta Psychologica, 134*(3), 372–384.

Kuhns, A. B., Dombert, P. L., Mengotti, P., Fink, G. R., & Vossel, S. (2017). Spatial attention, motor intention, and Bayesian cue predictability in the human brain. *Journal of Neuroscience, 37*(21), 5334–5344.

Laurienti, P. J., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging, 27*(8), 1155–1163.

Lewald, J., & Guski, R. (2003). Cross-modal perceptual integration of spatially and temporally disparate auditory and visual stimuli. *Cognitive Brain Research, 16*(3), 468–478.

Li, Q., Wu, J. L., & Touge, T. (2010). Audiovisual interaction enhances auditory detection in late stage: an event-related potential study. *Neuroreport, 21*(3), 173–178.

Lunn, J., Sjoblom, A., Ward, J., Soto-Faraco, S., & Forster, S. (2019). Multisensory enhancement of attention depends on whether you are already paying attention. *Cognition, 187*, 38–49.

McCracken, H. S., Murphy, B. A., Glazebrook, C. M., Burkitt, J. J., Karellas, A. M., & Yielder, P. C. (2019). Audiovisual multisensory integration and evoked potentials in young adults with and without attention-deficit/hyperactivity disorder. *Frontiers in Human Neuroscience, 13*, 95.

Mengotti, P., Boers, F., Dombert, P. L., Fink, G. R., & Vossel, S. (2018). Integrating modality-specific expectancies for the deployment of spatial attention. *Scientific Reports, 8*(1), 1210.

Meredith, M. A., Nemitz, J. W., & Stein, B. E. (1987). Determinants of multisensory integration in superior colliculus neurons. I. Temporal factors. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology, 7*(10), 3215–3229.

Meredith, M. A., & Stein, B. E. (1986a). Spatial factors determine the activity of multisensory neurons in cat superior colliculus. *Brain Research, 365*(2), 350–354.

Meredith, M. A., & Stein, B. E. (1986b). Visual, auditory, and somatosensory convergence on cells in superior colliculus results in multisensory integration. *Journal of Neurophysiology, 56*(3), 640–662.

Meyer, K. N., Du, F., Parks, E., & Hopfinger, J. B. (2018). Exogenous vs. endogenous attention: Shifting the balance of fronto-parietal activity. *Neuropsychologia, 111*, 307–316.

Miller, J. (1982). Divided attention: Evidence for coactivation with redundant signals. *Cognitive Psychology, 14*(2), 247–279.

Miller, J. (1986). Timecourse of coactivation in bimodal divided attention. *Perception & Psychophysics, 40*(5), 331–343.

Peelen, M. V., & Kastner, S. (2014). Attention in the real world: Toward understanding its neural basis. *Trends in Cognitive Sciences, 18*(5), 242–250.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32*(1), 3–25.

Raab, D. H. (1962). Statistical facilitation of simple reaction times. *Transactions of the New York Academy of Sciences, 24*(5), 574–590.

Riggio, L., & Kirsner, K. (1997). The relationship between central cues and peripheral cues in covert visual orientation. *Perception & Psychophysics, 59*(6), 885–899.

Santangelo, V., Fagioli, S., & Macaluso, E. (2010). The costs

of monitoring simultaneously two sensory modalities decrease when dividing attention in space. *Neuroimage, 49*(3), 2717–2727.

Santangelo, V., Ho, C., & Spence, C. (2008). Capturing spatial attention with multisensory cues. *Psychonomic Bulletin & Review, 15*(2), 398–403.

Santangelo, V., & Spence, C. (2007). Multisensory cues capture spatial attention regardless of perceptual load. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 33*(6), 1311–1321.

Stein, B. E., Meredith, M. A., & Wallace, M. T. (1993). The visually responsive neuron and beyond: Multisensory integration in cat and monkey. *Progress in Brain Research*, 95, 79–90.

Talsma, D., Senkowski, D., Soto-Faraco, S., & Woldorff, M. G. (2010). The multifaceted interplay between attention and multisensory integration. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(9), 400–410.

Talsma, D., & Woldorff, M. G. (2005). Selective attention and multisensory integration: multiple phases of effects on the evoked brain activity. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*(7), 1098–1114.

Tang, X. Y., Gao, Y. L., Yang, W. P., Ren, Y. N., Wu, J. L., Zhang, M., & Wu, Q. (2019). Bimodal-divided attention attenuates visually induced inhibition of return with audiovisual targets. *Experimental Brain Research, 237*(4), 1093–1107.

Ulrich, R., Miller, J., & Schröter, H. (2007). Testing the race model inequality: An algorithm and computer programs. *Behavioural Brain Research, 39*(2), 291–302.

van den Brink, R. L., Cohen, M. X., van der Burg, E., Talsma, D., Vissers, M. E., & Slagter, H. A. (2014). Subcortical, modality-specific pathways contribute to multisensory processing in humans. *Cerebral Cortex, 24*(8), 2169–2177.

van der Burg, E., Olivers, C. N. L., Bronkhorst, A. W., & Theeuwes, J. (2008). Pip and pop: Nonspatial auditory signals improve spatial visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 34*(5), 1053–1065.

van der Burg, E., Talsma, D., Olivers, C. N. L., Hickey, C., & Theeuwes, J. (2011). Early multisensory interactions affect the competition among multiple visual objects. *Neuroimage, 55*(3), 1208–1218.

van der Stigchel, S., Meeter, M., & Theeuwes, J. (2007). Top-down influences make saccades deviate away: The case of endogenous cues. *Acta Psychologica, 125*(3), 279–290.

van der Stoep, N., van der Stigchel, S., & Nijboer, T. C. W. (2015). Exogenous spatial attention decreases audiovisual integration. *Attention Perception & Psychophysics, 77*(2), 464–482.

van der Stoep, N., van der Stigchel, S., Nijboer, T. C. W., & Spence, C. (2017). Visually induced inhibition of return affects the integration of auditory and visual information. *Perception, 46*(1), 6–17.

Vossel, S., Mathys, C., Daunizeau, J., Bauer, M., Driver, J., Friston, K. J., & Stephan, K. E. (2014). Spatial attention, precision, and Bayesian inference: A study of saccadic response speed. *Cerebral Cortex, 24*(6), 1436–1450.

Vossel, S., Mathys, C., Stephan, K. E., & Friston, K. J. (2015). Cortical coupling reflects Bayesian belief updating in the deployment of spatial attention. *Journal of Neuroscience, 35*(33), 11532–11542.

Vossel, S., Thiel, C. M., & Fink, G. R. (2006). Cue validity modulates the neural correlates of covert endogenous orienting of attention in parietal and frontal cortex. *Neuroimage, 32*(3), 1257–1264.

Zou, H., Müller, H. J., & Shi, Z. (2012). Non-spatial sounds regulate eye movements and enhance visual search. *Journal of Vision, 12*(5), 2.

The influence of endogenous spatial cue validity on audiovisual integration

TANG Xiaoyu[1]; WU Yingnan[1]; PENG Xing[2]; WANG Aijun[3]; LI Qi[4]

([1] *School of Psychology, Liaoning Collaborative Innovation Center of Children and Adolescents Healthy Personality Assessment and Cultivation, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)

([2] *Flight Technology College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan* 618307, *China*)

([3] *Department of Psychology, Research Center for Psychology and Behavioral Sciences, Soochow University, Suzhou* 215123, *China*)

([4] *School of Computer Science and Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun* 130022, *China*)

Abstract

Previous studies usually used the instruction to control the attention of the participants to different spatial locations to investigate the influence of endogenous spatial attention on the audiovisual integration, which found that endogenous spatial attention enhanced audiovisual integration. However, in reality, it is difficult to assign attention in an all-or-none manner. In present study, we used endogenous spatial cue-target paradigm to investigate the effect of endogenous spatial cue validity on audiovisual integration.

The current study was a 2 (cue validities: valid, invalid) × 3 (target modalities: visual, auditory, audiovisual) factorial design. A total of 62 undergraduate students were recruited as paid volunteers. Experiment 1 recruited 35 participants (5 males; age range: 18~26 years; mean age: 21.26 ± 1.77 years). Experiment 2 recruited 27

participants (6 males; age range: 19~25 years; mean age: 22.19 ± 1.75 years). The visual (V) target was a white pentagonal asterisk block (2°×2°). The auditory (A) target was a 1600 Hz sinusoidal tone presented by speakers. The audiovisual (AV) target was composed by the simultaneous presentation of both the visual and the auditory stimuli. At the beginning of each trial, the fixation stimulus was presented for 600~800 ms in the center of the monitor. Following the fixation stimulus, the cue was presented for 200 ms, which could predict (50% or 80%) the location of the target. Before the target that appeared for 100 ms, the inter stimulus interval (ISI) lasted for 700 ms. The target (A, V, or AV) randomly appeared for 100 ms in the left or right locations. At last, the fixation stimuli appeared for 600 ms to wait for the correspondence responses to targets. During the experiment, the participants were asked to locate targets by pressing buttons (F/J) as quickly and accurately as possible.

The results showed that the responses to AV targets were faster than V or A targets, indicating the appearance of the bimodal advancement effect in both experiments. Each target modality showed significant cueing effect. And the cueing effect in experiment 2 was significantly larger than the cueing effect in experiment 1. In addition, in experiment 1, relative multisensory response enhancement (rMRE), race model (probability difference) showed no significant difference at valid compared to invalid locations. However, in experiment 2, rMRE and race model (probability difference) increased at valid compared to invalid locations. The results suggested that endogenous spatial attention enhanced audiovisual integration in high spatial validity condition.

In summary, Endogenous spatial attention had different effects on the audiovisual integration under different spatial cue validity. High spatial cue validity enhanced audiovisual integration. The current study provides direct behavioral evidence for endogenous spatial attention to enhance audiovisual integration.

Key words cue validity; audiovisual integration; endogenous spatial attention; cue-target paradigm; race model